

PREDIKSI OPTIMASI DIMENSI BALOK KOLOM BANGUNAN MASJID DENGAN METODE ARTIFIAL NEURAL NETWORK

Jauhari Prasetiawan¹,

¹ Fakultas Teknik , Universitas Islam Al-Azhar, Mataram
Email: jauhariprasetiawan@unizar.ac.id

Abstract

Indonesia is the confluence of three of the world's major plates, therefore a lot of plate activity occurs so that earthquake intensity often occurs. The earthquake resulted in many casualties, this is because many building structures do not meet the requirements of earthquake-resistant buildings. The structure of mosque buildings in Lombok has many towering mosque towers. Many mosque buildings in Lombok do not apply the earthquake-resistant building principle, namely strong column weak beam, so that the average mosque building collapses is the soft story type. The research method used to optimize the dimensions of the columnar beam in this study there are two methods, namely optimization using SAP 2000 and then optimization using Artificial Neural Network (ANN) modeling. The empirical equations obtained are three equations, namely the equation of a beam, a square column and a circle column. The percentage of error that occurs in the use of the empirical formula is 0.88%, so that the equation can be used to perform dimensional prediction calculations with different variations.

Keywords: *Optimization, Mosque Building, Artificial neural Network*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan pertemuan tiga lempeng besar dunia, karenanya banyak akifitas lempeng yang terjadi sehingga intensitas gempa sering terjadi. Pada bulan Juli tahun 2017 gempa dengan kekuatan gempa besar terjadi di Lombok. Titik pusat gempa terjadi di Kabupaten Lombok Utara dengan kedalaman sekitar 10 km di bawah permukaan tanah.

Gempa tersebut mengakibatkan banyak korban jiwa, hal ini dikarenakan banyak struktur bangunan yang tidak memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa dan gempa terjadi sekitar pukul 19.30 WITA, dimana pada waktu tersebut, masyarakat sedang melaksanakan ibadah solat isya'.

Struktur bangunan masjid di Lombok banyak Menara masjid yang menjulang tinggi, dan pembangunan masjid biasanya dibangun

secara gotong royong oleh masyarakat sekitar dan tidak melalui proses perencanaan bangunan tahan gempa. Bangunan masjid di Lombok banyak yang tidak menerapkan prinsip bangunan tahan gempa yakni *strong coloum weak beam*, sehingga rata rata bangunan masjid yang runtuh, tipe keruntuhananya *soft story*.

Untuk membantu masyarakat dalam hal perencanaan bangunan khususnya bangunan Masjid, peneliti membuat rumus empiris dengan bantuan kecerdasan buatan agar dapat memperhitungkan berapa dimensi balok dan kolom yang optimal sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang perencanaan Gedung tahan gempa.

Kecerdasan buatan yang digunakan disini adalah *Artificial Neural Network* (ANN) dengan *back propagation*.

2. Tinjauan Pustaka

Computer Science | Industrial Engineering | Mechanic Engineering | Civil Engineering

Melakukan penelitian optimasi dimensi balok kolom bangunan kantor dengan metode *Artificial Neural Network*, didapatkan 12 rumus empiris untuk mengoptimasi dimensi balok kolom [1].

Optimasi dilakukan dalam penelitian tersebut dengan cara, memperhitungkan dimensi balok kolom dengan menggunakan software SAP 2000, hingga struktur tersebut mendapatkan nilai optimal. Nilai optimal tersebut selanjutnya di inputkan kedalam Matlab sebagai software yang membantu input kedalam ANN.

Sejalan dengan penelitian optimasi profil baja untuk kuda-kuda. Dari penelitian tersebut didapatkan rumus empiris untuk memprediksi dimensi profil baja [2]. Melakukan penelitian dengan memprediksi Nilai Kuat Tekan Mortar bahan tambahan Pecahan Keramik menggunakan metode Pemodelan Artificial Neural Network (ANN) yang bertujuan tuk mendapatkan nilai kuat tekan mortar tanpa melakukan pengujian dilaboraorium [3].

Penelitian tersebut mendapatkan satu persamaan untuk mendapatkan nilai kuat tekan tersebut.

Landasan Teori

Pembebanan Struktur

Pembebanan yang di gunakan dalam memodelkan struktur bangunan masjid pada penelitian ini adalah:

Beban hidup

Beban diperoleh dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Dalam SNI tercantum besaran beban hidup tergantung dari pemanfaatan dari bangunan tersebut. Untuk bangunan dengan pemanfaatan sebagai sarana ibadah, beban hidup yang dipikul sebesar 400 kg/m²

Beban mati

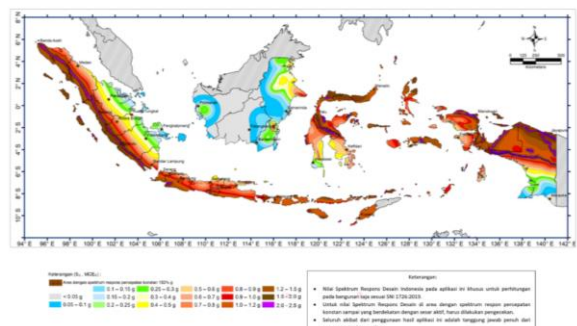
Beban mati merupakan berat struktur utama dari Gedung. Beban mati dibagi menjadi dua yaitu beban sendiri struktur Gedung dan beban

mati tambahan seperti dinding, plafond, lantai, dan lain lain yang menambah beban struktur tersebut dan bersifat tetap [4].

Beban Gempa

Peta gempa mengacu pada SNI 1726-2019 dan di kutip pada laman website: <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.5000&ss=1.0837&s1=0.3913&tl=8&kelas=2&range=12#grafik> [5]

Berikut ini peta yang menunjukkan *Risk-Adjusted Maximum Considered Earthquake (MCER) Ground Motion Parameter for Indonesia for 0.2 s Spectral Response Acceleration (5% of Critical Damping) (S_s)*



Gambar 1. *S_s Risk-Adjusted Maximum Considered Earthquake (MCER)* sumber: (SNI, rsa.ciptakarya, 2019)

Aplikasi Desain Spektra Indonesia juga memberikan *output* Koefisien situs. Dimana koefisien tersebut tergantung dari jenis tanah dan percepatan gempa yang terpetakan pada periode, T = 0.2 detik dan T = 1 detik , dapat dilihat pada table berikut ini.

Table 1. Koefisien Situs (F_a)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _a) terpetakan pada periode pendek, T = 0.2 detik, S _s					
	S _s ≤ 0.25	S _s = 0.5	S _s = 0.75	S _s = 1.0	S _s = 1.25	S _s ≥ 1.5
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
SF	SS ^(a)					

CATATAN:
(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Sumber: (SNI, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung, 2019)

Table 2. Koefisien Situs (F_v)

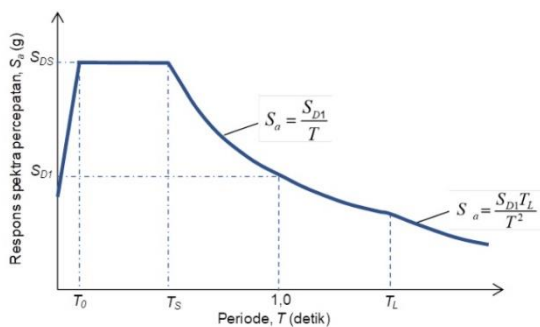
Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_a) terpetakan pada periode 1 detik, S_T					
	$S_T \leq 0,1$	$S_T = 0,2$	$S_T = 0,3$	$S_T = 0,4$	$S_T = 0,5$	$S_T \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik lihat 6.10.1

Sumber: (SNI, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung, 2019)

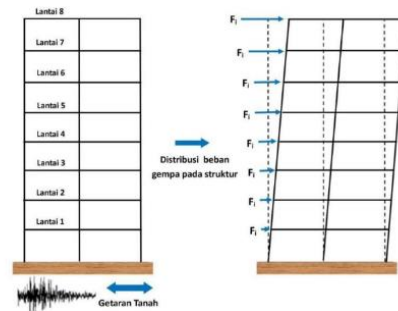
Selain peta dan koefisien klas situs, aplikasi tersebut juga menampilkan grafik respon spektrum sesuai dengan kelas situs lokasi pembangunan.



Gambar 3 – Spektrum respons desain

Gambar 2. Grafik respon spektrum yang akan diinputkan kedalam software SAP 2000. Sumber: (SNI, rsa.ciptakarya, 2019)

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa static ekuivalen dan Analisa dinamik, dimana analisa secara dinamik menggunakan respon spektrum.



Gambar 3. Ilustrasi analisis gempa menggunakan respon spektrum dan static ekuivalen

Beban Angin

Angin menimbulkan beban terhadap bangunan berupa tekanan dan hisapan.

Terdapat dua beban angin yaitu beban hisap dan beban tekan. Sisi gedung yang berhadapan langsung dengan datangnya angin akan terkena beban tekan dan sisi lainnya terkena beban hisap [6].

3. METODE PENELITIAN

Lokasi pengambilan sampel desain bangunan dan parameter gempa dalam penelitian ini berada di Kabupaten Lombok Utara. Kabupaten tersebut merupakan daerah yang terdampak gempa paling parah dan kelas situs adalah tanah sedang.

Metode penelitian yang digunakan untuk mengoptimasi dimensi balok kolom pada penelitian ini ada dua metode, yakni optimasi menggunakan SAP 2000 setelah itu optimasi Menggunakan pemodelan *Artificial Neural Network (ANN)*.

Adapun Langkah Langkah penelitian sebagai berikut:

1. Pemilihan gambar kerja masjid yang biasa digunakan di Lombok;
2. Memodelkan bangunan masjid menggunakan SAP 2000 dengan variasi tinggi kolom dan bentangan balok yang berbeda yakni: 4 m dan 4.5 m untuk kolom. 4 m, 6 m, dan 8 m untuk bentangan balok;
3. Tentukan dimensi awal balok dan kolom dengan variasi pada point 2;

4. Analisis dimensi tersebut hingga didapatkan nilai optimum dimensi balok kolom yang mampu menopang gaya-gaya dalam yang terjadi;
5. Dimensi balok kolom yang telah optimum dijadikan input target dalam pemodelan *Artificial Neural Network*;
6. Memodelkan *Artificial Neural Network* dengan bantuan MATLAB, dengan parameter input masukan dan input target antara lain:
 - a. Input masukan
 - 1) Parameter percepatan geser tanah (Ss)
 - 2) Parameter jenis tanah
 - 3) Variasi bentang balok, dan
 - 4) Variasi bentang kolom
 - b. Input Target
 - 1) Dimensi balok
 - 2) Dimensi kolom;
7. Persamaan matematis yang dihasilkan dari prediksi nilai permeabilitas sebagai nilai Output diatas dengan simulasi ANN adalah sebagai berikut.

$$Y = b(2,1) + W(1,1) Z_1 + W(2,1) Z_2 \quad (1)$$

$$Z_1 = \frac{1}{1 + e^{-Z_{in1}}} \quad (2)$$

$$Z_2 = \frac{1}{1 + e^{-Z_{in2}}} \quad (3)$$

Dengan:

$$Z_{in1} = f(X_1 V(1,1) + X_2 V(2,1) + X_3 V(3,1) + X_4 V(4,1) + b(1,1)) \quad (4)$$

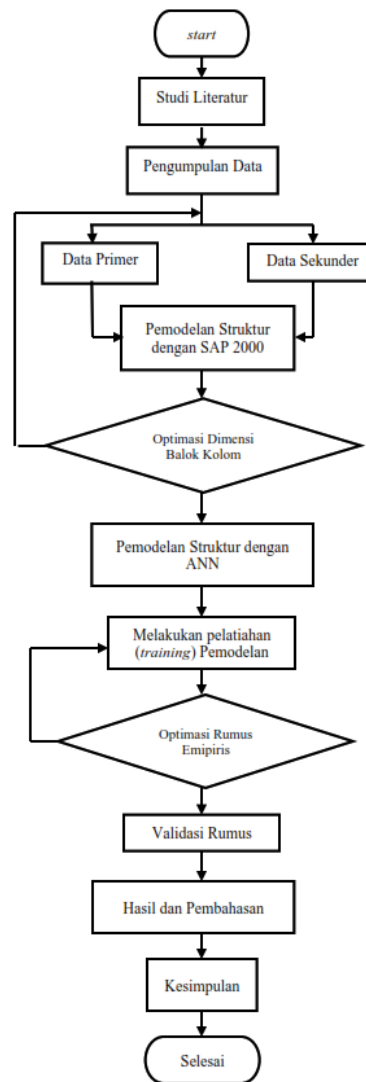
$$Z_{in2} = f(X_1 V(1,2) + X_2 V(2,2) + X_3 V(3,2) + X_4 V(4,2) + b(1,2)) \quad (5)$$

Sumber: (Kusumadewi, 2010)

 8. Mendapatkan rumus empiris untuk perhitungan dimensi balok kolom;
 9. rumus empiris yang didapatkan, kemudian digunakan untuk mendapatkan dimensi dan luas tulangan dengan variasi struktur yang lainnya;
 10. Melakukan validasi dengan cara menganalisis kembali dimensi yang didapatkan menggunakan rumus empiris

tersebut secara random ke dalam SAP 2000.

Berikut ini bagan alir dari penelitian ini.



Gambar 4. Bagan alir penelitian

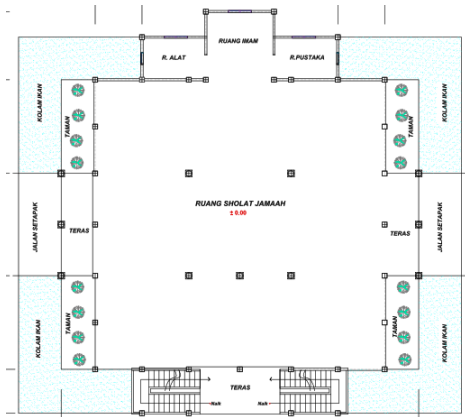
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur

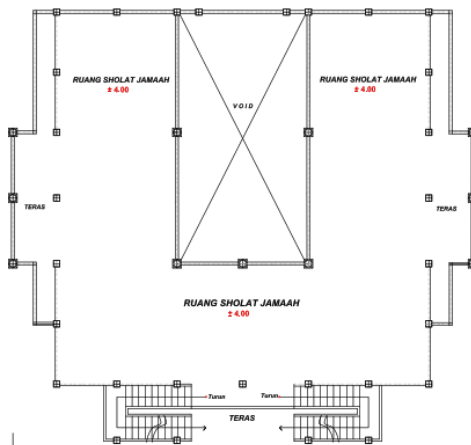
Pemodelan struktur dilakukan secara komputasi dengan bantuan software Autocad. Berikut ini model struktur yang digunakan pada penelitian.

Gambar yang digunakan merupakan gambar kerja/asbuild drawing dari bangunan masjid.

Modeling gambar masjid ini merupakan model/tipe bangunan masjid yang sering digunakan di Lombok. Berikut ini gambar denah dari bangunan masjid tersebut.



Gambar 5. Denah Lantai 1

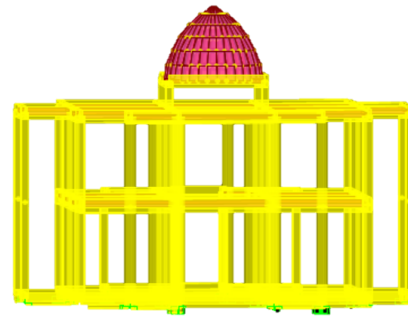


Gambar 6. Denah Lantai 2

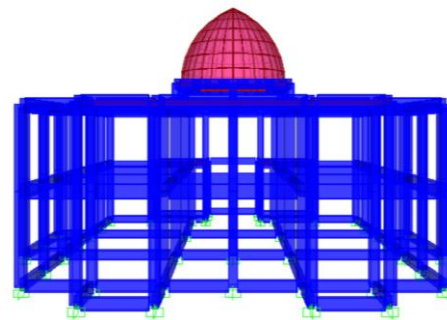
Pemodelan SAP 2000

Untuk memodelkan struktur bangunan masjid, elemen struktur dikelompokkan untuk memudahkan dalam proses optimasi dimensi dan proses pengerjaan dilapangan.

Proses optimasi ini dilakukan dengan bantuan software SAP 2000. Berikut ini gambar permodelan menggunakan Sap 2000.



Gambar 7. Pemodelan bangunan masjid bentang 4 m



Gambar 8. Pemodelan Struktur Bentang 6 m

Pembebanan Struktur

Berdasarkan SNI 2847:2019 dan disesuaikan dengan nilai parameter percepatan disain respon spektrum pada periode pendek (S_{ds} di daerah Kabupaten Lombok Utara, maka kombinasi pembebanan yang diterapkan pada pemodelan struktur bangunan masjid antara lain:

- Comb. 1 1.40DL+1.40SDL
- Comb. 2 1.20DL+1.20SDL+1.60L
- Comb. 3 1.37DL+1.37SDL+1.00LL+1.00EX+0.30EY
- Comb. 4 1.37DL+1.37SDL+1.00LL+1.00EX-0.30EY
- Comb. 5 1.37DL+1.37SDL+1.00LL-1.00EX 0.30EY
- Comb. 6 1.37DL+1.37SDL+1.00LL-1.00EX+0.30EY
- Comb. 7 1.37DL+1.37SDL+1.00LL+0.30EX+1.00EY
- Comb. 8 1.37DL+1.37SDL+1.00LL+0.30EX-1.00EY

- Comb. 9 1.37DL+1.37SDL+1.00LL-0.30
EX-1.00EY
- Comb. 10 1.37DL+1.37SDL+1.00LL-0.30
EX+1.00EY
- Comb. 11 0.73DL+0.73SDL+1.00LL+1.00
EX+0.30EY
- Comb. 12 0.73DL+0.73SDL+2.00LL+1.00
EX-0.30EY
- Comb. 13 0.73DL+0.73SDL+3.00LL-1.00
EX-0.30EY
- Comb. 14 0.73DL+0.73SDL+4.00LL-1.00
EX+0.30EY
- Comb. 15 0.73DL+0.73SDL+1.00LL+0.30
EX+1.00EY
- Comb. 16 0.73DL+0.73SDL+2.00LL+0.30
EX-1.00EY
- Comb. 17 0.73DL+0.73SDL+3.00LL-0.30
EX-1.00EY
- Comb. 18 0.73DL+0.73SDL+4.00LL-0.30
EX+1.00EY
- Gravitasi 1.20DL+1.20SDL+1.00LL

4	Mode	4	0.279305	94%	100%
5	Mode	5	0.196837	97%	100%
6	Mode	6	0.183083	100%	100%
7	Mode	7	0.114139	100%	100%
8	Mode	8	0.111577	100%	100%
9	Mode	9	0.109785	100%	100%
10	Mode	10	0.10452	100%	100%
11	Mode	11	0.1043	100%	100%
12	Mode	12	0.098258	100%	100%

Pengecekan Prilaku Struktur
Pemeriksaan jumlah ragam

Dalam SNI 1726:2019 bahwa dalam menganalisis struktur bangunan bertingkat harus menertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa actual dalam masing-masing arah dari respon yang ditinjau oleh model. Adapun jumlah ragam pada bangunan masjid yang dimodelkan dapat dilihat pada tabel 3.

Pada tabel terlihat bahwa partisipasi massa struktur sudah melebihi 90%, yang artinya prilaku struktur di tinjau dari segi massanya telah memenuhi persyaratan dan pemeriksaan prilaku struktur yang lain dapat dilakukan.

Table 3. Jumlah partisipasi massa ratio

No	Step Type	Step Num	Period	SumUX	SumUY
	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
1	Mode	1	0.776269	0%	95%
2	Mode	2	0.57602	69%	95%
3	Mode	3	0.479861	94%	95%

Jika partisipasi massa blm memenuhi, maka Analisa selanjutnya tidak bisa dilakukan. Oleh katena itu perlu dilakukan modifikasi agar partisipasi massa tersebut dapat memenuhi. Agar partisipasi massanya terpenuhi, perlu ditambahkan jumlah mode nya.

Pemeriksaan Perbandingan geser dasar $V_{dinamik}$ dengan V_{static}

Dalam SNI 1726:2019 juga mensyaratkan perbandingan antara $V_{dinamik}$ dengan V_{static} harus lebih besar. Gaya geser dasar secara dinamik harus lebih besar 100% dari gaya geser dasar secara statik. Pada tabel 4. Menjelaskan bahwa $v_{dinamik}$ pada permodelan bangunan masjid telah memenuhi persyaratan teesebut.

Table 4. perbandingan $V_{Dinamik}$ dengan V_{Statik}

Geser Dasar	Dinamik (V_D) Kg	Statik (V_S) Kg	Faktor Skala V_S/V_D	Kontrol $V_D > 100\% V_S$
X	56025.2	55746.27	0.995021	Memenuhi
Y	48662.18	48422.88	0.995082	Memenuhi

Pemeriksaan simpangan ijin

Pemeriksaan ini harus dilakukan untuk mengetahui prilaku struktur terhadap displacement yang terjadi jika diberi beban gempa yang terkombinasi. Displacemen yang ditinjau pada arah X dan Y dikarenakan prilaku beban gempa tidak hanya pada satu arah saja. Pada tabel 5. dan tabel 6. Dan gambar grafik displacement/perpindahan yang di

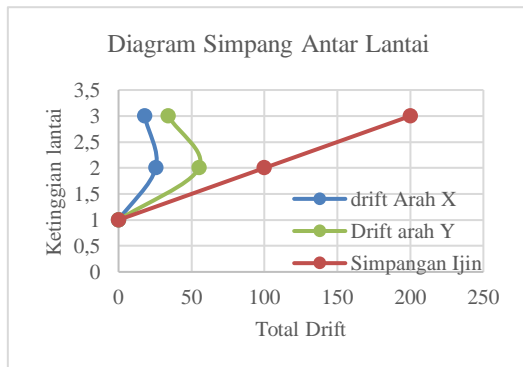
perlihatkan pada gambar 8. Diperlihatkan bahwa nilai *displacement* masih dalam batas aman, hal ini dinyatakan karena nilai *displacement* kurang dari nilai perpindahan ijin. Jika nilai *displacement* melebihi nilai ijin maka struktur harus diberi pengaku untuk mengurangi *displacement* tersebut.

Table 5. displacement arah X

Lantai	Joint	Tinggi lantai (Hi)	δ_x	Δ_x	Δ_a (ijin)	Ketan
3	122	8	7.884	17.843	200	AMAN
2	121	4	4.640	25.521	100	AMAN
1	120	0	0	0	0	AMAN

Table 6. displacement arah Y

Lantai	Joint	Tinggi lantai (Hi)	δ_y	Δ_y	Δ_a (ijin)	Ketan
3	122	8	16.201	33.980	200	AMAN
2	121	4	10.023	55.124	100	AMAN
1	120	0	0	0	0	AMAN



Gambar 9. diagram simpang

Pemodelan Artificial Neural Network

Pemodelan Artificial Neural Network (ANN) dilakukan dengan bantuan software MATLAB berikut ini input masukan pada software ditunjukkan pada tabel 7.

Dimana parameter geser sesmik (Ss), jenis tanah, bentang balok dan bentang kolom merupakan input masukan, sedangkan dimensi balok merupakan input target pada ANN. Input

target dinyatakan dalam luas penampang balok.

Table 7. Input masukan dan input target ANN

No.	Ss	Jenis tanah	Bentang balok	Bentang kolom	Dimensi balok Lt 1
1	0.94	1	4	4	125000
2	0.94	1	6	4	180000
3	0.94	1	8	4	245000
4	0.94	1	4	4.5	125000
5	0.94	1	6	4.5	180000
6	0.94	1	8	4.5	245000

Data pada tabel 7. Selanjutnya dimasukkan kedalam Bahasa pemrograman artificial neural network berikut ini.

```
clear;
% Data input & target
Data = [...
1.0000 1.0000 0.5000 0.8889 0.5102
1.0000 1.0000 0.7500 0.8889 0.7347
1.0000 1.0000 1.0000 0.8889 1.0000
1.0000 1.0000 0.5000 1.0000 0.5102
1.0000 1.0000 0.7500 1.0000 0.7347
1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000];
P = Data(:,1:4)';
T = Data(:,5)';

% Membangun jaringan syaraf feedforward
net = newff(minmax(P),[2 1],{'logsig'
'purelin'},'trainscg');

% Set max epoch, goal, learning rate,
momentum, show step
net.trainParam.epochs =45000;
net.trainParam.goal = 1e-11;
net.trainParam.lr = 0.1;
net.trainParam.mc = 0.75;
net.trainParam.show = 100;
net.trainParam.min_grad = 1e-9;

% Melakukan pembelajaran
net = train(net,P,T);

% Melihat bobot-bobot awal input, lapisan
dan bias
BobotAwal_Input = net.IW{1,1};
BobotAwal_Bias_Input = net.b{1,1};
BobotAwal_Lapisan = net.LW{2,1};
BobotAwal_Bias_Lapisan = net.b{2,1};

% Melakukan simulasi
y = sim(net,P);

% Menggambar Grafik
subplot(211)
plot(P(1,:),T,'bo',P(1,:),y,'r*');
title('perbandingan antara target (o) dan
Output Jaringan (*)');
xlabel('input pertama');
ylabel('target aau Output');
grid;
```



```
subplot(212)
plot(P(2,:),T,'bo',P(2,:),y,'r*');
title('perbandingan antara target (o) dan
Output Jaringan (*)');
xlabel('input kedua');
ylabel('target aau Output');
grid;
```

setelah data input dan target di masukkan kedalam Bahasa pemrograman di atas, selanjutnya dilakukan pembelajaran terhadap program tersebut agar mendapatkan regresi mendekati atau sama dengan 1.

Output program tersebut berupa konstanta-konstanta yang nantinya kan dimasukkan kedalam persamaan (1) sampai Persamaan (5), sehingga diperoleh persamaan empiris berikut ini:

Rumus Empiris Balok

$$(Y) = 0.5069 + (0.5329)Z1 + (-0.5172)Z2$$

Rumus Empiris Kolom Persegi

$$(Y) = 1.1323 + (-0.8579)Z1 + (0.8775)Z2$$

Rumus Empiris Kolom Lingkaran

$$(Y) = 0.7645 + (-0.5446)Z1 + (0.74055)Z2$$

Dari persamaan di atas dicoba diinputkan kedalam variasi parameter percepatan tanah(Ss), Jenis Tanah, Bentang Balok, dan Bentang Kolom, maka didapat kan error penggunaan rumus yang paling banyak adalah sebesar 0.88%, persentase ini sangat kecil, sehingga persamaan tersebut dapat digunakan untuk variasi lainnya.

Table 8. Output ANN dan Persamaan empiris elemen struktur balok.

No.	SS	JENIS TANAH	BENTANG BALOK	BENTANG KOLOM	DIEMNSI BALOK LT 1	OUTPUT ANN	Zin1	Zin2	Z1	Z2	Y	Error Persamaan Empiris
1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	0.8889	0.5102	0.5102	-3.0849	-3.2106	0.0437	0.0388	0.5102	0.0013
2.0000	1.0000	1.0000	0.7500	0.8889	0.7347	0.7347	-0.2836	-6.0447	0.4296	0.0024	0.7346	0.0088
3.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.8889	1.0000	1.0000	2.5177	-8.8788	0.9254	0.0001	1.0000	0.0023
4.0000	1.0000	1.0000	0.5000	1.0000	0.5102	0.5102	2.7174	3.1806	0.9380	0.9601	0.5102	0.0012
5.0000	1.0000	1.0000	0.7500	1.0000	0.7347	0.7347	5.5186	0.3465	0.9960	0.5858	0.7347	0.0013
6.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	8.3199	-2.4876	0.9998	0.0767	1.0000	0.0001

5. KESIMPULAN

1. Persamaan empiris yang diperoleh sebanyak tiga persamaan, yakni persamaan balok, kolom persegi dan kolom lingkaran.
2. Persentase error yang terjadi dalam penggunaan rumus empiris paling besar 0.88%, sehingga persamaan tersebut dapat digunakan untuk melakukan perhitungan prediksi dimensi dengan variasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prasetiawan, J. Optimasi Dimensi Balok Kolom Bangunan Kantor dengan Metode Artificial Neural Network. *Avisena*, 2018.
- [2] Makrifa, A. I. Optimasi Sudut Dalam Kuda-Kuda Baja Dengan Metode Artificial Neural Network. *Avisena*, 2019.
- [3] Suryani, E., Ulfiyati, Y., & Afifuddin, M. N. Prediksi Nilai Kuat Tekan Mortar Dengan Pemodelan Artificial Neural Network (ANN) Dengan Pecahan Keramik. *Handasah*, 39-46, 2021.
- [4] Kusumadewi, S. *Neuro fuzzy edisi 2 : Integrasi sistem fuzzy dan jaringan syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [5] SNI. *rsa.ciptakarya*. Retrieved from Disain Respon Spektrum, 2019: <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/index.php?pga=0.5000&ss=1.0837&s1=0.3913&tl=8&kelas=2&range=12#grafik>

- [6] SNI. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standar Nasional, 2019.